

## بررسی توزیع وانادیم در اراضی با کاربری‌های کشاورزی و صنعتی در استان اصفهان

سمیه صدر<sup>۱\*</sup>، و مجید افیونی<sup>۲</sup>

۱. مربی، گروه علوم کشاورزی، دانشگاه پیام نور، استان کرمان

۲. استاد، گروه خاک‌شناسی، دانشگاه صنعتی اصفهان

Afyuni@cc.iut.ac.ir

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۰۵/۰۳

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۵/۰۴/۲۱

### چکیده

با توجه به اهمیت استان اصفهان از نظر فعالیت‌های کشاورزی و صنعتی، همچنین جمعیت زیاد این استان، این تحقیق با هدف ارزیابی تغییرات مکانی وانادیم در بخش‌هایی از اراضی استان اصفهان، همچنین تهیه نقشه آلودگی این عناصر در خاک‌های این منطقه انجام گرفت. در این تحقیق، نمونه‌های خاک از عمق ۰-۲۰ سانتی‌متری روی شبکه‌ای منظم با فواصل حدود ۴ کیلومتر برداشت شد. موقعیت جغرافیایی نمونه و کاربری محل نمونه‌برداری نیز شناسایی و ثبت شد. پس از آماده‌سازی نمونه‌های خاک در آزمایشگاه، مقدار وانادیم کل با دستگاه XRF تعیین شد. ساختار مکانی متغیر مورد مطالعه به کمک تغییرنما بررسی شد. نتایج حاصل بیانگر ساختار قوی در توزیع غلظت وانادیم در منطقه است. الگوی کروی بهترین مدل برازش داده‌شده برای این متغیر است. میان‌یابی در شبکه‌بندی ۱۰۰۰×۱۰۰۰ متر و با حداقل و حداکثر ۴ و ۱۶ نقطه به‌روش کریجینگ نقطه‌ای، WINGSLIB انجام شد. بر اساس نقشه پراکنش وانادیم، به‌نظر می‌رسد فعالیت‌های صنعتی مؤثرترین عامل در افزایش غلظت وانادیم در منطقه به‌شمار می‌رود و جهت باد غالب در انتشار وانادیم در منطقه مؤثر بوده است.

### کلیدواژه

اصفهان، زمین آمار، کریجینگ، وانادیم.

### ۱. سرآغاز

کودهای فسفات‌ها نیز واردکننده عناصر سنگین به اراضی کشاورزی به‌شمار می‌آید و انباشت این عناصر در خاک، به‌خصوص در زمین‌های کشاورزی، باعث جذب مقادیر زیاد آن در گیاه شده است. لذا، بیش از حد طبیعی وارد زنجیره غذایی انسان و حیوان می‌شود. وانادیم یکی از عناصر رایج در لیتوسفر به‌شمار می‌رود. میانگین این عنصر در لیتوسفر دارای محدوده‌ای از ۱۰ تا ۲۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم است (Jayawardana et al., 2015). بیشترین غلظت‌های وانادیم در شیل (Zhang et al., 2002) و سنگ‌آهک و کمترین غلظت آن در خاک‌های پیت مشاهده شده است (Poledniok & Buhl, 2003). به‌طور متوسط

فلزات سنگین در خاک شاخص مهمی برای نشان‌دادن آلودگی‌های جهانی محیط‌زیست است و بخش مهمی از آلاینده‌ها را تشکیل می‌دهد که به علت خواص سمی و تجمع‌پذیری حتی در غلظت‌های کم اهمیت محیط‌زیستی بالایی دارد. به‌همین دلیل توزیع آلودگی آن به شدت مورد توجه قرار گرفته است. افزایش جمعیت، گسترش شهرها، پیشرفت فعالیت‌های صنعتی و توزیع بدون مدیریت در نهاده‌های کشاورزی از مهم‌ترین عوامل افزایش غلظت عناصر سنگین به‌شمار می‌رود (Kelly et al., 1996). Alloway (۱۹۹۰) اعلام داشت لجن فاضلاب و

(Pais & Jones, 2000). جدول ۱، میانه و حداکثر غلظت وانادیم در برخی کشورها و میانگین غلظت در چین، اروپا و جهان و حداکثر غلظت مجاز در روسیه و کانادا را نشان می‌دهد.

برای بهبود توصیه‌های مدیریتی در جهت کنترل و رفع این آلاینده‌ها نیاز به تعیین الگوی مکانی آلاینده‌هاست. در عمل تفکیک دقیق زمین‌های آلوده به عناصر سنگین به دلیل پیچیده بودن الگوی تغییرات مکانی، تغییرات شدید و وجود آلودگی‌های موضعی، امری مشکل است. البته، مطالعات متعددی برای درون‌یابی و تعیین توزیع مکانی غلظت فلزات سنگین در خاک وجود دارد.

۱۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم وانادیم در سنگ‌بسترهای رسوبی از جمله شیل سیاه وجود دارد (Alloway, 1990). این عنصر که از مجموعه عناصر نادر است یکی از اجزای ضروری رژیم غذایی انسان محسوب می‌شود (Mason, 2007). نخستین گزارش در زمینه سمیت این عنصر در سال ۱۸۷۹ ثبت شد، اما از آنجا که علایم سمیت وانادیم به‌ندرت مشاهده شده است، هنوز بسیاری از کشورها برای حدود مجاز وانادیم مقداری معرفی نکرده‌اند. حد مجاز وانادیم در خاک‌های لومی ۱۰۰ میکروگرم بر گرم، در خاک‌های لومی شنی ۱۰۰ میکروگرم بر گرم و در خاک‌های شنی ۵۰ میکروگرم بر گرم گزارش شده است

جدول ۱. میانه و حداکثر و میانگین غلظت وانادیم (Mg/Kg) در برخی کشورها و جهان

| منبع                    | غلظت وانادیم (Mg/Kg) |                  | کشور                                    |
|-------------------------|----------------------|------------------|---|
|                         | حداکثر               | میانه            |   |
| Reimann et al. (2014)   | ۳۲۳                  | ۶۸               | اروپا (XRF) خاک‌های کشاورزی شخم‌خورده   |
| Cicchella et al. (2015) | ۲۴۵                  | ۹۴               | ایتالیا (XRF) خاک‌های کشاورزی شخم‌خورده |
| Reimann et al. (2003)   | ۲۰۳                  | ۱۸               | کشورهای بالتیک                          |
| Zhang et al. (2008)     | ۲۴۰                  | ۵۲/۲             | ایرلند                                  |
| Brus et al. (2002)      | ۱۶۸                  | ۲۷/۷             | هلند                                    |
| Goldhaber et al. (2009) | ۴۹۹                  | ۱۳۵              | شمال کالیفرنیا                          |
| Govindaraju (1994)      | ۱۵۰                  | ۳۶               | آمریکا                                  |
|                         |                      | میانگین          |   |
| Chen et al. (1991)      |                      | ۸۲               | چین                                     |
| Reimann et al. (2014)   |                      | ۶۸/۱             | اروپا                                   |
| Kabata-Pendias (2001)   |                      | ۶۰               | جهانی                                   |
|                         |                      | حداکثر غلظت مجاز |   |
| Panichev et al., 2006   |                      | ۱۵۰              | روسیه                                   |
| CCME, 1991-2007         |                      | ۱۳۰              | کانادا                                  |

مطالعاتی دانستند. گلشاهی و همکاران (۱۳۹۰) و خداکرمی و همکاران (۱۳۹۰)، در اراضی مرکزی استان همدان، به‌منظور پهنه‌بندی غلظت فلزات سنگین کروم، کبالت و نیکل با استفاده از روش کریجینگ معمولی و مدل نمایی،

صدر و همکاران (۱۳۸۸) در بررسی توزیع مکانی آرسنیک در اراضی استان اصفهان، از ۲۰۷ نمونه استفاده کنند و جنس سنگ‌مادر و وزش باد غالب را عوامل مؤثر در افزایش غلظت این عنصر در بخش‌های شمالی منطقه

عنصر (آرسنیک، کادمیم، کروم، مس، جیوه، نیکل، سرب و روی) در ۲۶ کشور اروپا استفاده کردند. Rodriguez و همکاران (۲۰۰۹) در اطراف معدن سرب- روی قدیمی در کشور اسپانیا، توزیع مکانی عناصر سرب، روی، کادمیم و مس را بررسی کردند. بر اساس نتایج، غلظت‌های بالای سرب، روی و کادمیم در اراضی قابل کشت و چراگاه‌های اطراف معدن مشاهده و علت آن زهکش‌های معدن و تأثیر باد در انتقال آلودگی‌ها معرفی شد. در این مطالعه مهم‌ترین راهکار مبارزه با این آلودگی‌ها، احیا و تثبیت باطله‌های معدن معرفی شد. Guagliardi و همکاران (۲۰۱۶) به منظور بررسی توزیع غلظت وانادیم در مناطق شهری و حاشیه شهری و تعیین منبع وانادیم در کالابریا (جنوب ایتالیا) از ۱۴۹ نمونه خاک سطحی استفاده کردند.

از آنجا که اطلاعات اندکی در رابطه با آلودگی خاک‌های ایران به وانادیم وجود دارد، در این تحقیق به بررسی زمین‌آمارای توزیع وانادیم در خاک‌های سطحی بخش‌هایی از اراضی استان اصفهان با کاربری‌های متفاوت و تهیه نقشه‌های پراکنش این عنصر در منطقه پرداخته‌ایم. از مطالعات انجام گرفته در زمینه پهنه‌بندی وانادیم در ایران می‌توان به مطالعات عبیدی و معطر (۱۳۹۱) و زیاقمی و همکاران (۱۳۹۱) اشاره کرد.

## ۲. مواد و روش‌ها

محدوده مطالعاتی با وسعت ۶۸۰۰ کیلومتر مربع و ارتفاع متوسط ۱۶۰۰ متر از سطح دریا، در استان اصفهان و در حد فاصل عرض‌های جغرافیایی ۳۲°، ۷'، ۵۳" تا ۳۲°، ۱۷'، ۵۱"، ۵۹°، ۳۲' و طول‌های جغرافیایی ۵۱°، ۱۵'، ۴۲" تا ۵۲°، ۵۲'، ۴۱" قرار دارد. این مطالعه قسمت‌های وسیعی از اراضی کشاورزی استان و مراکز بزرگ صنعتی از جمله کارخانه ذوب آهن، فولاد مبارکه، پالایشگاه و نیروگاه اصفهان را دربرمی‌گیرد. شکل ۱ تقسیمات شهری منطقه مطالعاتی را نشان می‌دهد.

متوسط بارندگی در منطقه مطالعاتی بر اساس سالنامه

از ۱۵۰ نمونه خاک استفاده کردند. دادگر و همکاران (۱۳۹۴) با هدف ارزیابی وضعیت توزیع مقادیر مختلف آهن و روی در منطقه آبسرد دماوند، ۶۰ نمونه برداشت کردند و علاوه بر پهنه‌بندی ویژگی‌های خاک این منطقه، اعلام داشتند که برای پهنه‌بندی ویژگی‌های خاک، روش‌های کریجینگ نسبت به روش وزن‌دهی معکوس فاصله، برتری دارد. همین نتیجه را سیفی و میرزایی (۱۳۹۶) نیز گزارش کردند. در این مطالعه ۱۳۵ نمونه از خاک‌های سطحی منطقه آران و بیدگل برای پهنه‌بندی عناصر مس و کادمیم و مقایسه روش‌های مختلف درون‌یابی برداشته شد.

Juang و همکاران (۲۰۰۱) از کریجینگ به منظور مشخص کردن اراضی دارای غلظت بالاتر از حد آستانه کادمیم در ۵ هکتار از اراضی کشور تایوان استفاده کردند. Brus و همکاران (۲۰۰۲) از ۴۰۹۴ نمونه خاک در سرتاسر کشور هلند به منظور تهیه نقشه پراکنده کادمیم در بررسی احتمال وجود اراضی دارای غلظت بیش از حد آستانه این عنصر و تأثیر آن بر کیفیت غذا (محصولات گیاهی و دامی) در سطح ملی استفاده کردند. Amini و همکاران (۲۰۰۵) در محدوده‌ای به وسعت ۶۸۰۰ کیلومتر مربع از قسمت‌های مرکزی ایران به منظور تعیین مناطق در معرض خطر آلودگی کادمیم و سرب از ۲۵۵ نمونه خاک استفاده کردند. طی این مطالعه غلظت بیش از حد مجاز کادمیم در قسمت‌های غربی منطقه مطالعاتی مشاهده شد، اما غلظت سرب در تمامی مناطق کمتر از حد آستانه بود.

Jiachun و همکاران (۲۰۰۷) به منظور پهنه‌بندی شش عنصر جیوه، کادمیم، سرب، مس، آرسنیک و کروم در ۱۴۳۰ کیلومتر مربع از کشور چین از ۶۶۵ نمونه خاک استفاده کردند. بر اساس نتایج این مطالعه، غلظت کادمیم و جیوه در میان این عناصر بالاتر از حد آستانه بود و این محققان علت آن را فعالیت‌های صنعتی و استفاده از آفت‌کش‌های حاوی جیوه معرفی کردند. Lado و همکاران (۲۰۰۸) از ۱۵۸۸ نمونه خاک به منظور پهنه‌بندی هشت

نقاط نمونه‌برداری را در منطقه مطالعاتی نشان می‌دهد. کاربری نقاط در منطقه به سه دسته کشاورزی (۴۶/۵ درصد)، بایر (۴۳/۳ درصد) و شهری و صنعتی (۱۰ درصد) تقسیم می‌شود.

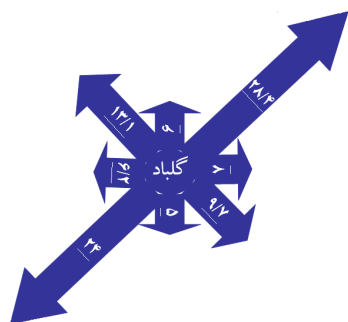
پس از هواخشک کردن و کوبیدن نمونه‌ها و عبور آن از الک ۲ میلی‌متری، غلظت وانادیم کل در نمونه‌های خاک با دستگاه (SPECTRO XEPOS) XRF<sup>۲</sup> در کشور سوئیس اندازه‌گیری شد. این روش بر اساس برانگیخته شدن استوار است و غالباً برای تجزیه‌های عنصری به صورت نیمه‌کمی و کمی به کار گرفته می‌شود. شاخص‌های موقعیت، پراکنش و شکل داده‌ها در محیط نرم‌افزاری SPSS<sup>۳</sup> بررسی شد. همچنین، نرمال‌بودن توزیع داده‌ها در راستای تجزیه و تحلیل‌های مربوط به تکنیک‌های زمین‌آمار مطالعه شد تا در صورت غیرنرمال‌بودن داده‌ها، با استفاده از تبدیلهای لگاریتمی نرمال شود.

در مطالعات زمین‌آمار، ابزاری که برای توصیف رابطه بین دو متغیر استفاده می‌شود، نمودار تغییرنا نام دارد. تغییرنمای ایده‌آل دارای سه پارامتر است، شامل اثر قطعه‌ای، حد آستانه و دامنه مؤثر. اثر قطعه‌ای بیان‌کننده مؤلفه غیرساختاری (تصادفی) واریانس است. حد آستانه تقریبی از واریانس کل را ارائه می‌کند و مقدار دامنه مؤثر بیانگر فاصله‌ای است که در ماورای آن نمونه‌ها را می‌توان مستقل از یکدیگر به حساب آورد (محمدی، ۱۳۸۵).

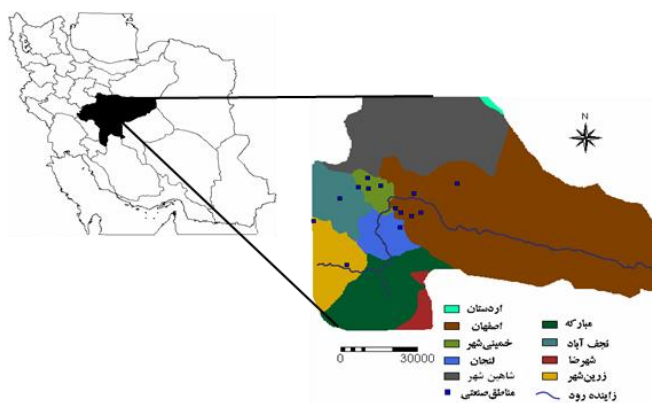
آمارای استان در دوره‌های سی ساله در حدود ۱۲۰ میلی‌متر در سال است. جهت وزش بادهای غالب منطقه در پاییز، زمستان و بهار عموماً از سمت غرب و جنوب غربی است، در حالی که در تابستان از سمت شرق و شمال شرقی است. در شکل ۲، گلباد منطقه مطالعاتی (بر اساس آمار ۲۵ ساله سازمان هواشناسی استان اصفهان) نشان داده شده است.

به‌منظور تعیین محدوده مورد مطالعه و موقعیت زمین‌شناسی آن از نقشه زمین‌شناسی با مقیاس ۱/۲۵۰۰۰۰، و نقشه موقعیت دشت‌ها و حوضه آبخیز استان اصفهان استفاده شد. تشکیلات زمین‌شناختی غالب در منطقه، رسوبات کواترنر و همین‌طور تشکیلات آهکی حاوی اوربیتالین و شیل مربوط به اواخر دوره کرتاسه است (اسدی، ۱۳۸۲). شکل ۳، نقشه سازندهای سطحی منطقه را نشان می‌دهد که با نرم‌افزار ILWIS و از ژئورفرنس نقشه زمین‌شناسی منطقه با مقیاس ۱/۲۵۰۰۰۰ تهیه شده است.

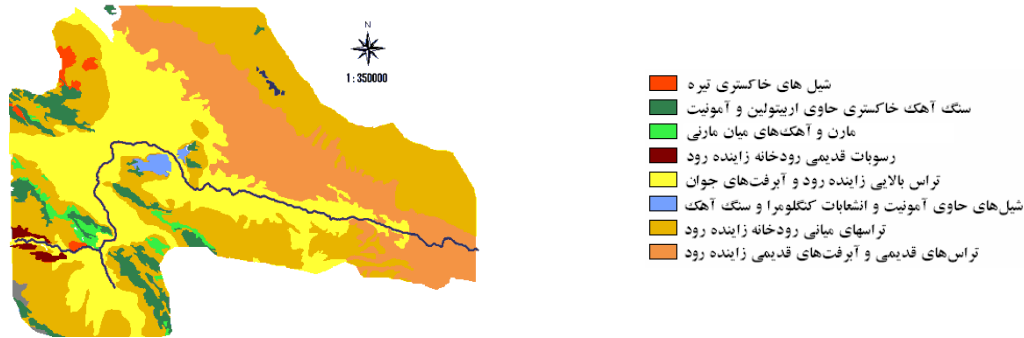
در این مطالعه، با توجه به اهداف پژوهش و ویژگی‌های منطقه از روش نمونه‌برداری تصادفی طبقه‌بندی‌شده<sup>۱</sup> استفاده شد (Mulla & McBratney, 2002). نمونه‌برداری از عمق ۰ تا ۲۰ سانتی‌متری سطح خاک انجام گرفت و در کل ۲۰۷ نمونه از کل منطقه برداشت و کاربری محل نمونه‌برداری به‌همراه موقعیت جغرافیایی نمونه‌ها با دستگاه GPS ثبت شد. شکل ۴ توزیع



شکل ۲. گلباد منطقه مطالعاتی (آمار ۲۵ ساله سازمان هواشناسی استان اصفهان)



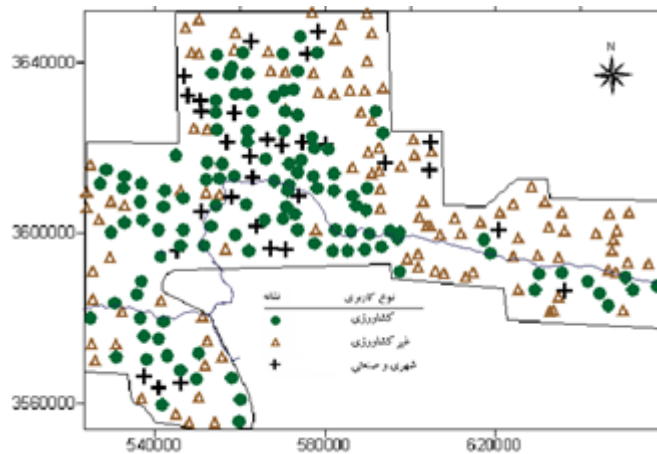
شکل ۱. موقعیت استان اصفهان در کشور و تقسیمات شهری منطقه مطالعاتی



شکل ۳. نقشه سازندهای سطحی منطقه مطالعاتی (مقیاس ۱:۳۵۰۰۰۰) حاصل از ژئورفرنس منطقه مطالعاتی با نرم‌افزار ILWIS

هم به صورت همه جهته و هم جهتی در همه جهات و با تحمل به زاویه  $\pm 15^\circ$  رسم شد. مدل‌های نظری بر تغییرنمای تجربی برازش داده شد و پارامترهای آن تعیین گردید.

چنانچه تغییرات متغیری نسبت به فاصله در همه جهتها یکسان باشد، آن متغیر همسانگرد است، ولی چنانچه تغییرات مکانی در جهت‌های گوناگون متفاوت باشد، متغیر ناهمسانگرد است. در این پژوهش، به منظور بررسی ناهمسانگردی تغییرنمای توزیع وانادیم در منطقه



شکل ۴. توزیع نقاط نمونه برداری در منطقه مطالعاتی

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [Z^*(x_i) - Z(x_i)]^2 \cong 1 \quad (1)$$

کریجینگ بهترین تخمین گر خطی ناریب و بر اساس منطق میانگین متحرک وزن دار استوار است و به صورت زیر استفاده شد (رابطه ۲).

$$Z^*(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i) \quad (2)$$

صحت الگوی برازش داده شده به تغییرنما با میانگین مربع خطای تخمین (رابطه ۱) بررسی شد، به این ترتیب که میانگین مربع خطای تخمین (MSE) برای هر کدام از تغییرنماهای تجربی اندازه گیری شد و تغییرنمایی که دارای کمترین مقدار MSE (تغییرنمای معتبرتر) بود برای انجام تخمین نهایی با ابزار آماری کریجینگ استفاده شد.

وانادیم در مطالعه حاضر از حد مجاز غلظت وانادیم بر اساس استانداردهای روسیه و کانادا کمتر بوده است و آلودگی خاک به این عنصر وجود ندارد. (زیاقمی و همکاران، ۱۳۹۱) ولی باید توجه داشت که آلودگی بیش از حد و بدون در نظر گرفتن ضوابط محیط‌زیستی، احتمال آلودگی خاک‌های سطحی و تأثیرگذاری آن بر گیاهان و در نهایت بر زنجیره غذایی و انسان را به دنبال خواهد داشت.

با توجه به نتایج تست کلموگروف-اسمیرنوف<sup>۴</sup> توزیع این عنصر نرمال بود. از این رو، تمامی پردازش‌های زمین‌آماري با استفاده از داده‌های اصلی انجام گرفت (شکل ۵الف). وانادیم در کل منطقه دارای چولگی منفی با مقدار ۰/۴۵- است که نمود تجمع بیشتر داده‌ها در سمت راست منحنی توزیع و فراوانی زیاد داده‌های با غلظت بالاتر بوده است. این شرایط به جز در کاربری کشاورزی در سایر کاربری‌های مورد مطالعه نیز مشاهده شده است.

در این رابطه  $Z^*$  تخمین مقدار متغیر  $Z$  در نقطه  $\lambda_i, \alpha_i$  وزن‌های آماری اختصاص یافته به مقادیر  $Z$  در نقاط  $\alpha_i$  و  $n$  تعداد نمونه به کاررفته در کریجینگ است.

در این پژوهش، اریوگرافی در جهات مختلف با تیلرانس به زاویه  $\pm 15^\circ$  درجه و میان‌یابی در شبکه‌بندی  $1000 \times 1000$  متر و با حداقل و حداکثر ۴ و ۱۶ نقطه به روش کریجینگ نقطه‌ای در محیط نرم‌افزار WINGSLIB انجام شد. به منظور تهیه نقشه توزیع مکانی پارامتر مورد نظر از محیط نرم‌افزاری Surfer استفاده شد.

### ۳. نتایج

#### ۱.۳. بررسی آماری

خلاصه نتایج آماری غلظت وانادیم کل در کاربری‌های مختلف در منطقه مطالعاتی در جدول ۲ ارائه شده است. بر اساس این مطالعات، میانگین غلظت وانادیم ۸۲/۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم و دامنه تغییرات آن ۱۲۰/۹ با حداقل ۱۹/۲ و حداکثر ۱۴۰/۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم است. میانگین غلظت

جدول ۲. خلاصه آماری پارامترهای آماری اولیه غلظت وانادیم کل در منطقه مطالعاتی

| غلظت وانادیم کل (میلی‌گرم بر کیلوگرم) |                          |                       |                             |  |
|---------------------------------------|--------------------------|-----------------------|-----------------------------|--|
| کل منطقه                              | اراضی کشاورزی<br>(/۴۶/۵) | اراضی باير<br>(/۴۳/۳) | اراضی شهری و صنعتی<br>(/۱۰) |  |
| میانگین                               | ۸۲/۹                     | ۷۶/۲                  | ۸۳/۹۵                       |  |
| واریانس                               | ۴۶۱                      | ۶/۳                   | ۴۶۴/۲۱                      |  |
| حداکثر                                | ۱۴۰/۱                    | ۱۴۰/۱                 | ۱۲۲/۳                       |  |
| حداقل                                 | ۱۹/۲                     | ۱۹/۲                  | ۲۶                          |  |
| انحراف معیار                          | ۰/۳                      | ۲۴/۷۶                 | ۲۱/۵۴                       |  |
| چولگی                                 | -۰/۴۵                    | -۰/۴                  | -۰/۶۲                       |  |

فعالیت‌های انسانی (کشاورزی و صنعتی) در غلظت وانادیم در محیط تأثیر داشته است و احتمالاً نقش مواد مادری در توزیع وانادیم در منطقه کمتر از سایر عوامل است. Guagliardi و همکاران (۲۰۱۶) در مطالعه خود در جنوب ایتالیا، به علت بالاتر بودن غلظت وانادیم در اراضی حاشیه

بر اساس نتایج مقایسات میانگین شکل ۵ب در کاربری‌های اراضی مورد بررسی در این تحقیق، غلظت وانادیم در اراضی کشاورزی و باير اختلاف معناداری دارد که این نتیجه میان کاربری صنعتی و شهری با اراضی باير نیز مشاهده شد. بر این اساس می‌توان اظهار داشت که

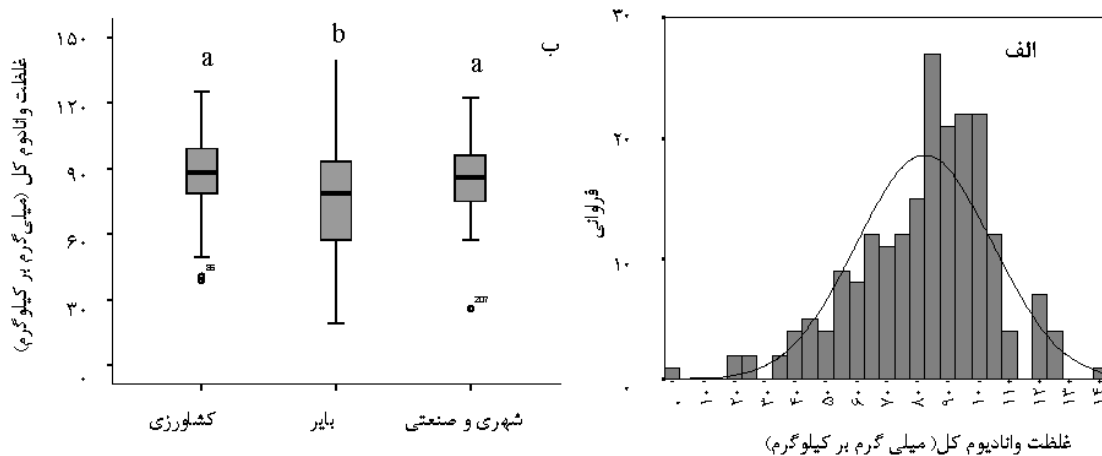
مقدار MSE محاسبه شده برای تغییرنا قابل قبول است. از عواملی که بر این پارامتر تأثیرگذار بود می‌توان به وسعت منطقه، تنوع کاربری اراضی در منطقه، فاصله زیاد میان نمونه‌ها اشاره کرد. با کم کردن خطای ناشی از این عوامل انتظار می‌رود این پارامتر به ۱ نزدیک‌تر شود.

شدت و درجه وابستگی مکانی متغیری ناحیه‌ای را می‌توان از تقسیم واریانس اثر قطعه‌ای به واریانس کل (حد آستانه) به دست آورد. گاه، این نسبت در عدد ۱۰۰ ضرب و به صورت درصد بیان می‌شود. اگر نسبت مزبور کمتر از ۲۵ درصد باشد، متغیر دارای کلاس وابستگی مکانی قوی و اگر نسبت بین ۲۵ تا ۷۵ درصد باشد، آنگاه متغیر مورد نظر دارای کلاس وابستگی مکانی متوسط است. اگر نسبت بیش از ۷۵ درصد باشد، متغیر دارای کلاس وابستگی مکانی ضعیف خواهد بود (Amini et al., 2005). درصد وابستگی مکانی و انادیم در مطالعه حاضر بیش از ۵۰ درصد بود که نشان از وابستگی مکانی متوسط این عنصر است. Jiachun و همکاران (۲۰۰۷) و Lado و همکاران (۲۰۰۸) در بررسی ساختار مکانی داده‌ها از این روابط استفاده کردند.

شهر نسبت به اراضی شهری، سنگ بستر و ماده مادری را منبع و انادیم در این منطقه معرفی کردند. عبیدی و معطر (۱۳۹۱) در بررسی‌های خود، عامل بالابودن غلظت و انادیم در استان البرز را فعالیت‌های منطقه صنعتی این استان و ورود این عنصر از طریق پساب این صنایع به اراضی کشاورزی معرفی کردند. زیاقمی و همکاران (۱۳۹۱) در بررسی اراضی اطراف نیروگاه اهواز عامل غلظت بالای و انادیم را فعالیت‌های صنعتی و انتشار این عنصر با باد غالب منطقه معرفی کردند. این محققان نیز در منطقه مطالعاتی خود غلظت‌های بالاتر از حدود مجاز را مشاهده نکردند.

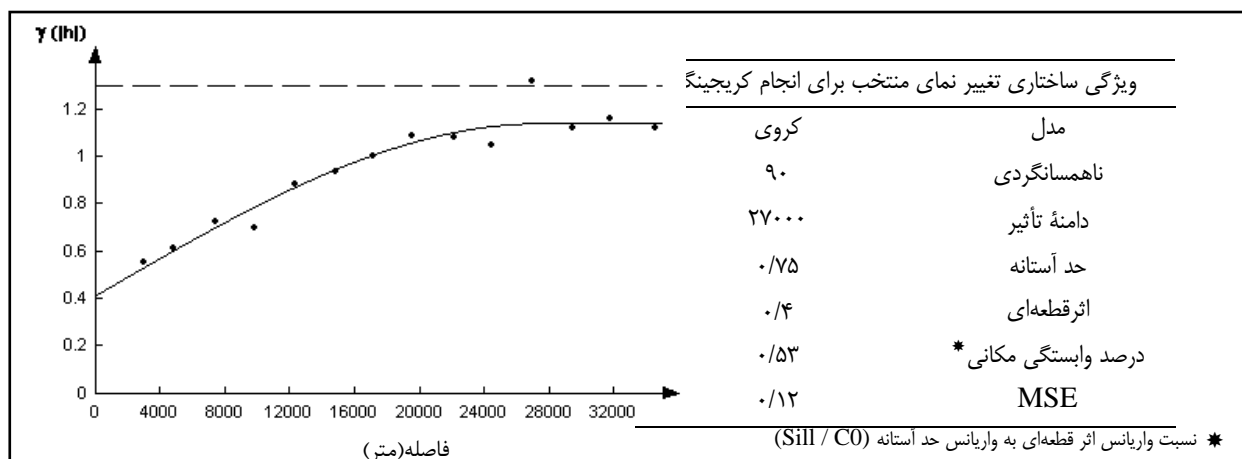
### ۲.۳. بررسی زمین آماری

در مطالعه حاضر، بهترین تغییرنمای جهت‌ی در زاویه ۹۰ درجه (تغییرات مکانی در این مطالعه به صورت ناهمسانگرد بود) و بهترین مدل تجربی برازش شده، مدل کروی بوده است. شکل ۶ تغییرنمای منتخب و انادیم و پارامترهای الگوی انتخابی برای استفاده در کریجینگ را نشان می‌دهد. تغییرنمای تجربی و انادیم، با اثر قطعه‌ای پایین، دامنه تأثیر بالا و سقف مناسب ساختار مکانی مناسبی دارد.



شکل ۵. الف) توزیع فراوانی غلظت و انادیم در منطقه مرکزی اصفهان، ب) نمودار جعبه‌ای مقایسه‌ای میانگین غلظت و انادیم در کاربری‌های مختلف اراضی در استان اصفهان

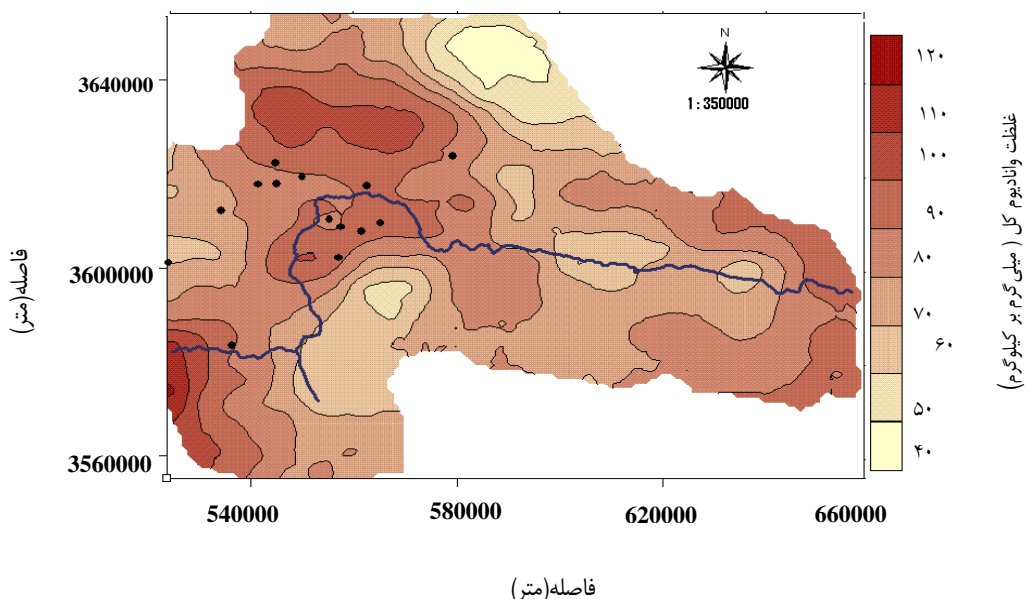




شکل ۶. تغییرنمای جهت‌ی هدایت الکتریکی (زاویه ۹۰ درجه) به همراه پارامترهای الگو

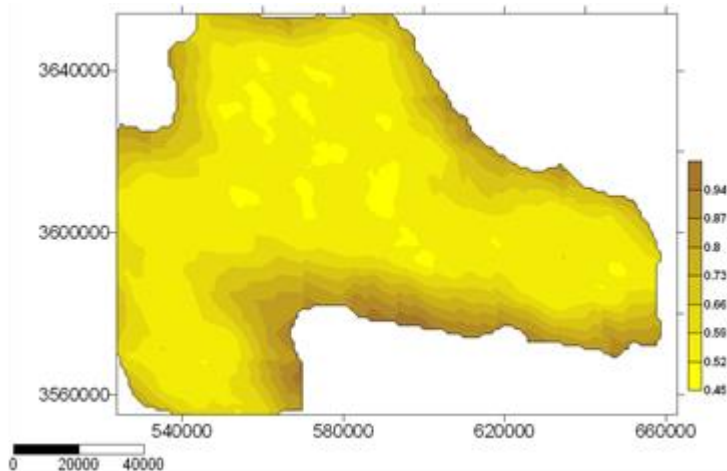
معمولی برای میان‌یابی استفاده شد (دادگر و همکاران، ۱۳۹۴؛ سیفی و میرزایی، ۱۳۹۶؛ خداکرمی و همکاران، ۱۳۹۰). شکل ۷ نقشه پراکنده‌گی و انادیم را با توجه به موقعیت جغرافیایی منطقه نشان می‌دهد. محدوده‌های تیره‌رنگ ۱ و ۲ در نقشه محدوده‌های دارای بالاترین غلظت و انادیم در منطقه مطالعاتی را نشان می‌دهد که به‌طور متوسط ۱۰۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم است. شکل ۸ واریانس خطای تخمین حاصل از کریجینگ نقطه‌ای را نشان می‌دهد.

در بین روش‌های مختلف کریجینگ، روش کریجینگ معمولی خطای کمتری دارد، زیرا در این روش، مقادیر نقطه مجهول از مقادیر نقاط معلوم اطراف و از مدل تغییرنما به‌دست می‌آید (ملکی و همکاران، ۱۳۹۳). بیشترین کاربرد روش کریجینگ معمولی در ترسیم نقشه‌هاست؛ بدین ترتیب که بر اساس نقاط واقع در شبکه نمونه‌برداری، نخست شبکه منظمی از نقاط تعریف‌شده با مختصات معلوم روی نقشه به روش کریجینگ نقطه‌ای تخمین زده شد. سپس، با الگوریتمی انتخابی خطوط هم‌تراز آن رسم شد. در مطالعه حاضر، از کریجینگ



شکل ۷. نقشه حاصل از کریجینگ نقطه‌ای و انادیم کل (میلی‌گرم بر کیلوگرم) (نقاط تیره مناطق صنعتی و شهری را نشان می‌دهد)





شکل ۸. نقشه واریانس تخمین حاصل از کریجینگ نقطه‌ای وانادیم

به‌شمار می‌رود. طی ذوب کانسارهای آهن، سرباره‌های حاوی ۱۲ تا ۲۴ درصد پنتاکسید وانادیم تولید می‌شود. غلظت وانادیم در نفت خام ۳ تا ۲۶۰ میکروگرم بر گرم و در بقایای حاصل از سوختن آن ۰/۲ تا ۱۶۰ میکروگرم بر کیلوگرم است. در خاکسترها، دوده‌ها و بخارات ناشی از دیگ‌های بخار و کوره‌ها مقدار آن از ۱ تا ۶۰ درصد متغیر است. غلظت وانادیم در زغال نیز حدود ۱۴ تا ۵۶ قسمت در میلیون است. محققان سوختن نفت و زغال را مهم‌ترین منابع ورود وانادیم در محیط‌زیست می‌دانند. در حوضه زاینده‌رود حدود نوزده شهرک صنعتی در حال فعالیت است که ۲۶ درصد از صنایع کشور را شامل می‌شود، از جمله نیروگاه شهید منظری (۸ کیلومتری شمال‌غرب اصفهان)، نیروگاه اسلام‌آباد (۵ کیلومتری غرب اصفهان)، مجتمع پتروشیمی اصفهان (۷ کیلومتری شمال‌غرب اصفهان)، کارخانه پلی‌اکریل (۴۵ کیلومتری جنوب اصفهان)، کارخانه سیمان اصفهان (۱۰ کیلومتری جنوب‌غرب اصفهان) و صنایع بسیار عظیمی از جمله فولاد مبارکه، ذوب آهن اصفهان، پالایشگاه نفت و کوره‌های آجرپزی اصفهان که بخش عظیمی از این صنایع (حدود ۸۰ درصد) در منطقه مطالعاتی این پژوهش فعالیت دارد و نزدیک به ۱۰ درصد آن مربوط به صنایع فلزی است. با توجه به گسترش وسیع صنایع از جمله ذوب آهن

همان‌طور که در این نقشه مشاهده می‌شود، حاشیه نقشه دارای واریانس تخمین بیشتری نسبت به سایر نواحی است. علت این امر اریب‌بودن تخمین‌ها در حاشیه است. برای رفع این مشکل می‌توان یک یا دو ردیف بیشتر از سطح مورد نیاز نمونه‌برداری انجام داد یا اینکه عمل میان‌یابی را در حواشی منطقه نمونه‌برداری انجام نداد.

#### ۴. بحث و نتیجه‌گیری

توزیع کلی فلزات سنگین در خاک سطحی ممکن است وابسته به تغییرات محلی در سنگ‌بستر، کاربری اراضی و فرایندهای آب‌وهوایی باشد. با روی هم‌گذاری نقشه‌های زمین‌شناسی، کاربری اراضی و توزیع غلظت وانادیم خاک سطحی مشخص شد که مناطق با غلظت بالای این عنصر سنگ بستر رسوبی دارد و در نزدیکی محدوده تیره شماره ۱، سنگ بستر از نوع شیل‌های خاکستری تیره است که ممکن است منشأ وانادیم موجود در منطقه باشد. لازم به ذکر است که به‌واسطه تراس‌های رودخانه زاینده‌رود، اراضی وسیعی از منطقه مطالعاتی روی بسترهای رسوبی قرار دارد، در حالی که غلظت‌های بالای وانادیم در اراضی محدودی دیده می‌شود. بنابراین، نقش مواد مادری و منشأ زمین‌شناسی وانادیم در منطقه رد می‌شود. وانادیم یکی از ناخالصی‌های کانسارهای پوسته زمین

۶۵۰ هزار تن انواع کودهای فسفره در کشور توزیع می‌شود که سهم استان اصفهان از این مقدار حدود ۳۰ هزار تن است (امینی، ۱۳۷۸). کودهای فسفره و لجن فاضلاب به علت دارا بودن غلظت بالایی از عناصر سنگین یکی از منابع ورود این عناصر به خاک‌های کشاورزی این استان است (امینی، ۱۳۸۱).

در مطالعه حاضر، با بالابودن میانگین غلظت وانادیم در اراضی کشاورزی نسبت به دو کاربری دیگر و با توجه به توزیع نقاط با کاربری کشاورزی در نیمه غربی منطقه مطالعاتی، انتظار می‌رود که فعالیت‌های کشاورزی از جمله استفاده از کودها و سموم کشاورزی نیز در اضافه شدن وانادیم به منطقه مطالعاتی مؤثر بوده باشد، اما به دلیل نبود اطلاعات کافی در زمینه میزان وانادیم موجود در کودها و سموم کشاورزی و فاضلابی که در اراضی کشاورزی این منطقه استفاده می‌شود، با قطعیت نمی‌توان بر این ادعا تأکید کرد و نیاز به مطالعات بیشتر در این زمینه احساس می‌شود.

#### یادداشت‌ها

1. stratified random sampling
2. X ray Florescent
3. Statistical Package for the Social Science: SPSS
4. one-sample Kolmogrov-Sminrnov

اصفهان در منطقه لنجان و فولاد مبارکه در شهرستان مبارکه، همچنین اختلاف معنادار میانگین غلظت وانادیم در اراضی شهری- صنعتی با اراضی بایر، می‌توان نقش فعالیت‌های صنعتی در این مناطق را در بالارفتن غلظت وانادیم مؤثر دانست. شکل ۷ شاهدهی بر این مدعاست، چرا که نقاط تیره‌رنگ روی نقشه که بر شهرستان‌های شاهین‌شهر و زرین‌شهر منطبق است (محدوده شماره ۱) در شمال و شمال شرق مناطق صنعتی استان واقع شده و درست در جهت باد غالب منطقه توسعه یافته است. به این ترتیب، احتمال تأثیر باد غالب منطقه (شکل ۲) در انتقال آلاینده‌ها و عناصر سنگین ناشی از فعالیت‌های صنعتی در منطقه تقویت می‌شود. این مطلب در رابطه با محدوده‌های تیره‌رنگ جنوب غرب منطقه (محدوده شماره ۲) نیز صادق است، چرا که این مناطق محدوده فعالیت‌های صنعتی مجتمع فولاد مبارکه و صنایع حاشیه‌ای آن است.

لجن فاضلاب و کودهای فسفاته نیز واردکننده وانادیم به اراضی کشاورزی به‌شمار آید. شهر اصفهان جزء نخستین شهرهای بزرگ کشور است که سیستم جمع‌آوری فاضلاب و تصفیه آن در سال ۱۳۴۰ آغاز شد. حجم لجن فاضلاب تولیدشده در سه تصفیه‌خانه فعال استان اصفهان (شمال، جنوب، شاهین‌شهر) معادل ۰/۱ درصد حجم فاضلاب تصفیه شده است. از سوی دیگر، سالیانه حدود

#### منابع

- اسدی، ز. ۱۳۸۲. بررسی همبستگی زمین‌آماری غلظت برخی عناصر سنگین در خاک و گیاه اطراف دو کارخانه ذوب آهن و مجتمع فولاد مبارکه. پایان‌نامه کارشناسی ارشد خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اساتید راهنما: حسین خادمی، جهانگرد محمدی.
- امینی، م. ۱۳۸۲. مدل‌سازی روند تجمع عناصر سنگین در اکوسیستم‌های زراعی و ارزیابی عدم قطعیت آن در منطقه اصفهان. رساله دکتری خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.
- امینی، م. ۱۳۷۸. بررسی زمین‌آماری شوری و قلیائیت در بعضی از خاک‌های منطقه رودشت. پایان‌نامه کارشناسی ارشد خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.
- خداکرمی، ل.، سفیانیان، ع.ر.، میرغفاری، ن.ا.، افیونی، م. و گلشاهی، ا. ۱۳۹۰. پهنه‌بندی غلظت فلزات سنگین کروم، کبالت و نیکل در خاک‌های سه زیرحوزه آبخیز استان همدان با استفاده از فناوری‌های GIS و زمین‌آمار. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، ۱۵(۵۸): ۲۴۳-۲۵۴.

- دادگر، م.، محمدعلیها، م. و زندی اصفهان، ا. ۱۳۹۴. تجزیه و تحلیل زمین‌آماری غلظت آهن و روی در اراضی مرتعی و زراعی مطالعه موردی: منطقه آسرد شهر دماوند، تحقیقات مرتع و بیابان ایران. ۲۲(۳): ۴۴۷-۴۵۴.
- زیاقمی، م.، کرباسی، ع. و معطر، ف. ۱۳۹۱. بررسی شدت آلودگی عناصر سنگین در خاک اراضی اطراف نیروگاه رامین اهواز. اولین همایش ملی حفاظت و برنامه‌ریزی محیط‌زیست، تهران.
- سیفی، ع. و میرزایی، ر.ا. ۱۳۹۶. مقایسه روش‌های درون‌یابی مکانی جهت پهنه‌بندی غلظت فلزات سنگین در خاک سطحی شهرستان آران و بیدگل. علوم و تکنولوژی محیط‌زیست، ۱۸(۱): ۱۳۱-۱۴۷.
- صدر، س.، افیونی، م. و فتحیان‌پور، ن. ۱۳۸۸. تغییرات مکانی آرسنیک در اراضی با کاربردهای مختلف در استان اصفهان. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، ۱۳(۵۰): ۶۵-۷۵.
- عبیدی، م. و معطر، ف. ۱۳۹۱. ارزیابی زیست‌محیطی فلزات (آرسنیک، سرب، کادمیم، کروم و وانادیم) با استفاده از شاخص جامع آلودگی و ریسک زیست‌محیطی. دومین کنفرانس برنامه‌ریزی و مدیریت محیط‌زیست، تهران.
- گلشاهی، ا.، سفیانیان، ع.ر.، میرغفاری، ن.ا. و افیونی، م. ۱۳۹۰. پهنه‌بندی آلودگی خاک به وانادیم با استفاده از GIS و زمین‌آمار. پنجمین همایش ملی بحران‌های زیست‌محیطی ایران و راهکارهای بهبود آن‌ها، خوزستان.
- محمدی، ج. ۱۳۸۵. پدومتری ۲ (آمار مکانی). انتشارات پلک، ایران، تهران.
- ملکی، ص.، خرمالی، ف. و کریمی، ع.ر. ۱۳۹۳. تهیه نقشه کربن آلی خاک با استفاده از خصوصیات توپوگرافی و زمین‌آمار در بخشی از منطقه توشن، استان گلستان. پژوهش‌های آب و خاک (علوم خاک و آب)، ۲۸(۲): ۴۵۹-۴۶۸.
- Alloway, B.J. 1990. The origin of heavy metals in soil. pp. 29-39. In: B.J. Alloway (Eds.), *Heavy Metals in Soils*, John Wiley & Sons. Inc., New York.
- Amini, M., Afyuni, M., Khademi, H., Abbaspour, K.C. and Schulin, R. 2005. Mapping risk of cadmium and lead contamination to human health in soils of Central Iran. *Science of Total Environment*, 347: 64-77.
- Brus, D.J., de Gruijter, J.J., Walvoort, D.J.J., de Vries, F., Bronswijk, J.J.B., Romkens, P.F.A.M. and De Vries, W. 2002. Mapping the probability of exceeding critical thresholds for cadmium concentrations in soils in the Netherlands. *Journal of Environmental Quality*, 31: 1875-1884.
- CCME (Canadian Council of Ministers of the Environment). 1991. 1999, updated 2001, 2002, 2004, 2006, and 2007. Interim Canadian environmental quality criteria for contaminated sites. CCME, Winnipeg.
- Chen, J., Wei, F., Zheng, C., Wu, Y. and Adriano, C.D. 1991. Background concentrations of elements in soils of China. *Water Air Soil Pollution*, 57/58: 699-712.
- Cicchella, D., Giaccio, L., Dinelli, E., Albanese, S., Lima, A., Zuzolo, D., Valera, P. and De Vivo, B. 2015. GEMAS: spatial distribution of chemical elements in agricultural and grazing land soil of Italy. *Journal of Geochemical Exploration*, 154: 129-142.
- Goldhaber, M.B., Morrison, J.M., Hollowat, J.M., Wanty, R., Helsel, D.R. and Smith, D.B. 2009. A regional soil and sediment geochemical study in northern California. *Applied Geochemistry*, 24: 1482-1499.
- Govindaraju, K. 1994. Compilation of working values and sample description for 383 geostandards. *Geostand. Newslett*, 18: 1-158 (Special Issue).
- Guagliardi, I., Cicchella, D., Rosa, R.D., Ricca, N. and Buttafuoco, G. 2016. Geochemical sources of vanadium in soils: Evidences in a southern Italy area. *Journal of Geochemical Exploration*, Available online: 21 November.
- Kabata-Pendias, A. 2001. Trace elements in soils and plants. Third (ed). CRC Press, Boca Raton.
- Jayawardana, D.T., Pitawala, H.M.T.G.A. and Ishiga, H. 2015. Geochemical evidence for the accumulation of vanadium in soils of chronic kidney disease areas in Sri Lanka. *Environmental Earth Sciences*, 73: 5415-5424.
- Jiachun, S., Haizhen, W., Jianming, X., Jianjun, W., Xingmei, L. and Haiping, Z. 2007. Spatial distribution of heavy metal in soil: A case study of changing. China. *Environmental Geology*, 52: 1-10.

- Juang, K.W., Lee, D.Y. and Ellsworth, T.R. 2001. Using rank-order geostatistics for spatial interpolation of highly skewed data in heavy metal contaminated site. *Journal of Environmental Quality*, 30: 894-903.
- Kelly, J., Thornton, I. and Simpson, P.R. 1996. Urban geochemistry: a study of the influence of anthropogenic activity on the heavy metal content of soils in traditionally industrial and non-industrial areas of Britain. *Applied Geochemistry*, 11(1-2): 363-370.
- Lado, L.R., Hengl, T. and Reuter, H.I. 2008. Heavy metals in European soils: A geostatistical analysis of the FOREGS Geochemical database. *Geoderma*, 148: 189-199.
- Mason, P. 2007. Dietary supplements. Pharm Press. London, 278 p.
- Mulla, D.J. and McBratney, A.B. 2002. Soil spatial variability. CRC press LLC.
- Pais, I. and Jones, J.B. 2000. The hand book of trace elements. St. Lucie press.
- Panichev, N., Mandiwana, K., Moema, D., Molatlhegi, R. and Ngobeni, P. 2006. Distribution of vanadium (V) species between soil and plants in the vicinity of vanadium mine. *Journal of Hazardous Materials*, 137: 649-653.
- Poledniok, J. and Buhl, F. 2003. Speciation of vanadium in soil. *Talanta*, 59: 1-8.
- Reimann, C., Birke, M., Demetriades, A., Filzmoser, P. and O'Connor, P. (Eds.). 2014. Chemistry of Europe's agricultural soils- Part A: methodology and interpretation of the GEMAS data set. *Geologisches Jahrbuch (Reihe B 102)*. Schweizerbart, Hannover: p. 528. <http://www.schweizerbart.de/publications/detail/isbn/9783510968466>.
- Reimann, C., Siewers, U., Tarvainen, T., Bityukova, L., Eriksson, J., Gilucis, A., Gregorauskiene, V., Lukashec, V.K., Matinian, N.N. and Pasieczna, A. 2003. Agricultural soils of Northern Europe: A geochemical atlas. Schweizerbart, Stuttgart.
- Rodriguez, L., Ruiz, E., Azcarate, J.A. and Rincon, J. 2009. Heavy metal distribution and chemical speciation in tailing and soils around a Pb-Zn mine in Spain. *Journal of Environmental Management*, 90: 1106-1116.
- Zhang, C., Fay, D., Mcgrath, D., Grennan, E. and Carton, O.T. 2008. Statistical analyses of geochemical variable in soils of Ireland. *Geoderma*, 146: 378-390.
- Zhang, X P., Deng, W. and Yang, X.M. 2002. The background concentrations of 13 soil trace elements and their relationships to parent materials and vegetation in Xizang (Tibet), China. *Journal of Asian Earth Sciences*, 21: 167-174.